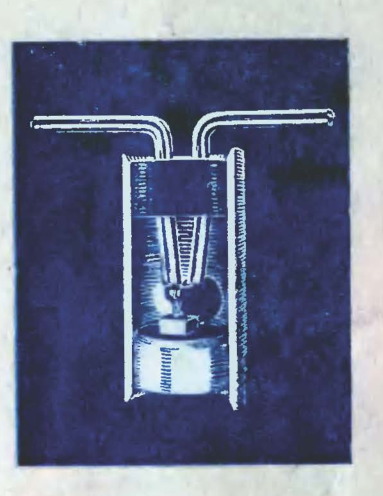
Цена 1 руб. 30 коп.

МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

Л. ГАРНЕР

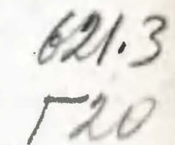
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ТРИОДЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ
1956

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 254



Л. ГАРНЕР

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ТРИОДЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Перевод с английского М. А. БЕРГ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1956 ЛЕНИНГРАД

Брошюра является сокращенным переводом с английского книги Л. Гарнера, представляющей собой учебное пособие для средней электротехнической школы Койна (США).

В ней достаточно популярно изложены элементарные понятия о свойствах и особенностях полупроводников, устройстве полупроводниковых приборов и описаны различные практические схемы, в которых применяются полупроводниковые диоды, триоды и тетроды

Выбор практических схем на полупроводниковых приборах достаточно широк и сопровождается указаниями по подбору деталей, особенностям монтажа и налаживания работы описанных схем.

Брошюра предназначена для того круга читателей, которые впервые знакомятся с полупроводниковой электроникой и намерены применить полученные ими знания для сборки различных схем.

Автор **Л. Гарнер**

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ТРИОДЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Редактор **В. И. Шамшур** Технич. редактор **К. П. Воронин**

Сдано в набор 15/V 1956 г. Подписано к печати 1/VIII 1956 г.
Бумага 84×108 1/32 2,87 п. л. Уч.-изд. л. 3,2.
Т-07609. Тираж 50 000. Цена 1 р. 30 к. Зак. № 1124

Тип. ЦБТИ МЭП. Москва, 123, ул. Плеханова. 2-й Плехановский туп., 12

ВВЕДЕНИЕ

Создание электронной лампы положило начало практической электронике и явилось большим этапом в развитии радиотехники. Не менее серьезное значение может иметь и появление полупроводниковых приборов, которые способны не только выполнять бо́льшую часть функций электронной лампы, но и решать в ряде случаев задачи, трудные или даже вообще невыполнимые при помощи лампы.

Полупроводниковый триод может работать генератором, усилителем постоянного тока, реле или переключателем, смесителем или модулятором, детектором. Кроме того, он может быть использован в качестве ослабителя (аттенюатора), для согласования полных сопротивлений, а также разделительного (буферного) каскада.

По своим размерам триод значительно меньше лампы, легче ее, имеет более долгий срок службы, менее чувствителен ко всякого рода сотрясениям, не требует расхода электроэнергии на накал. Триод, кроме того, безинерционен, так как не требует времени на прогрев.

Радиолюбители в скором времени, вероятно, заменят электронные лампы полупроводниковыми триодами в портативных приемниках, передатчиках, усилителях низкой частоты, в обычных радиовещательных приемниках, телевизорах и других установках.

Понадобится не только строить новую аппаратуру целиком на полупроводниковых триодах, но и переводить прежние конструкции с электронных ламп на полупроводниковые триоды.

Для экспериментатора полупроводниковые триоды обладают многими интересными свойствами. Необычайно малое потребление мощности и очень небольшие размеры триодов позволяют применять их в разнообразной портативной аппаратуре, в схемах управления.

Широкое применение полупроводниковые приборы получат, очевидно, и в военной аппаратуре, в частности в управляемых ракетах, неконтактных взрывателях, портативных связных и радиолокационных установках, в приборах для управления на расстоянии, в аппаратуре для определения и измерения радиации, миниатюрных приемниках и передатчиках, в счетно-решающих артиллерийских приборах, во многих других устройствах, где имеют значение вес, размеры и экономия электропитания.

Не менее широкое применение триоды найдут и в мирных целях. Огромные вычислительные машины, работающие на электронных лампах и занимающие большое помещение, с переводом на полупроводниковые приборы уменьшаются до размеров радиолы. Сотни тысяч (если не миллионы) полупроводниковых триодов будут работать в аппаратуре международной связи по проводам, на автоматических телефонных станциях, они будут выполнять набор номера абонента, подачу сигналов, усиление речи и т. д.

КАК РАБОТАЕТ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ТРИОД

Полупроводниковый триод представляет собой только часть большой группы полупроводниковых приборов, в состав которой входят селеновые фотоэлементы, селеновые выпрямители, германиевые диоды, применяемые в качестве детекторов и ограничителей в приемниках частотно-модулированных сигналов, кремниевые диоды, используемые в высокочастотных смесителях и преобразователях сигналов телевизионных и радиолокационных приемников.

Одним из самых ранних применений полупроводниковых приборов в радиотехнике было использование кристаллов сернистого свинца (так называемого галена) в детекторных приемниках.

Работа полупроводниковых триодов, диодов и других приборов определяется электрическими свойствами класса веществ, называемых **полупроводниками**. При некоторых условиях полупроводники ведут себя как проводники, а в других условиях как изоляторы.

Наиболее известными полупроводниками являются селен, германий и кремний, имеющие определенные примеси. Селен широко применяется в мощных выпрямителях и фотоэлементах. Кремний в основном служит для изготовления высокочастотных смесителей (диодов). Германий применяется в диодах, триодах и фототриодах.

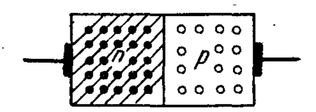
Почти все полупроводники обладают тем свойством, что сопротивление току в одном направлении у них меньше, чем в другом, на чем и основано применение диодов в качестве выпрямителей или детекторов. Появление электрического тока в полупроводниках в ряде случаев может быть вызвано действием света, тепла, электрических полей.

Полупроводники, через которые протекает электрический ток, в основном состоящий из электронов, называются полупроводниками с проводимостью типа *n* или от-

рицательными полупроводниками[1]. Примером такого полупроводника может служить германий с небольшим количеством примеси мышьяка.

Если же в веществе мало электронов и структура его молекул такова, что в ней имеются свободные, не занятые электронами участки (так называемые д ы р к и), то такие полупроводники имеют проводимость типа *p* и называются положительными полупроводниками[2].

На место дырки переходит ближайший электрон, а на его месте появляется новая дырка, которую может заполнить какой-либо соседний электрон. Таким путем перемещаются дырки по веществу, причем это перемещение подобно электрическому току, состоящему из положительно заряженных частиц.



Фиг. 1. Схематическое представление перехода типа *n-p* в полупроводнике.

Полупроводники с проводимостью типа *p* получаются путем добавления в чистый германий небольших количеств индия.

Заметим, что свободные дырки могут существовать и в веществе с проводимостью типа *p*, а свободные электроны в материале с проводимостью типа *n*. Как дырки, так и электроны могут возникать при прохождении тока по материалу.

Если осуществить переход из полупроводника типа *n* в полупроводник типа *p*, как это показано на фиг. 1, и приложить к нему постоянное напряжение, то величина тока через такой переход будет зависеть от полярности приложенного напряжения.

Если отрицательный полюс батареи подключен к материалу типа *n*, то свободные электроны будут двигаться слева направо по направлению к переходу между полупроводниками разной проводимости. Равным образом и дырки в материале типа *n* будут также перемещаться в

[1] *n* — первая буква слова negative (отрицательный).
[2] *p* — первая буква слова positive (положительный).

сторону перехода, где они станут заполняться свободными электронами из материала типа *n*.

На самом переходе при этом происходит свободный обмен положительными и отрицательными зарядами (дырками и электронами) и возникает сравнительно большой ток. В этом случае можно сказать, что переход представляет малое сопротивление для тока, или что он является хорошим проводником.

Если к материалу типа *n* присоединить положительный полюс батареи, то свободные электроны будут перемещаться от перехода к этому полюсу батареи. Подача отрицательного напряжения к материалу типа *p* заставит дырки перемещаться от перехода к отрицательному полюсу батареи. Таким образом, при подключении напряжения обратной полярности около перехода будет наблюдаться лишь небольшое количество свободных электронов и дырок. Следовательно, свободный обмен дырок и электронов в этих условиях оказывается затруднительным, и через переход пойдет очень малый ток, т. е. переход представляет собой большое сопротивление для тока и ведет себя подобно изолятору.

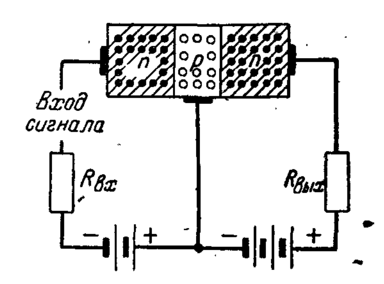
Такой переход, обладающий в одном направлении малым сопротивлением, а в другом большим, может служить как выпрямительный детектор.

Посмотрим теперь, как будут работать два таких перехода. Для этого нужно соединить вместе три пластины из полупроводников, причем посередине должна быть пластина из материала, противоположного по типу проводимости тем пластинам, которые находятся по краям.

Если по краям расположены пластины из материала типа *n*, а внутри типа *p*, то такое устройство называется триодом типа *n-p-n*. На фиг. 2 он представлен в разрезе.

Если же по краям расположены пластины из материала типа *p*, а пластина из материала типа *n* лежит между ними, то этот образец носит название триода типа *p-n-p*.

Пусть к левому переходу триода, показанного на фиг. 2, подано напряжение смещения и притом так, что сопротивление перехода уменьшается. Тогда через переход пойдет ток, величина которого зависит от значения сопротивления $R_{вых}$. Под влиянием этого тока на средней пластине триода возникнет избыток электронов.



Фиг. 2. Схематическое представление плоскостного триода типа *n-p-n* с источниками питания, входной и выходной нагрузками.

Если же подать напряжение смещения к правому переходу и притом так, чтобы сопротивление этого перехода было максимальным, то через него потечет обратный ток, вызванный избытком электронов на средней пластине.

Если теперь поток электронов через левый переход мы будем изменять, то число электронов, проходящих через среднюю пластину, также будет меняться, а следовательно, станет изменяться и величина обратного тока через правый переход.

Практически для изменения величины тока через левый переход, последовательно с постоянным напряжением смещения на переход подают еще небольшое переменное напряжение (например, напряжение сигнала).

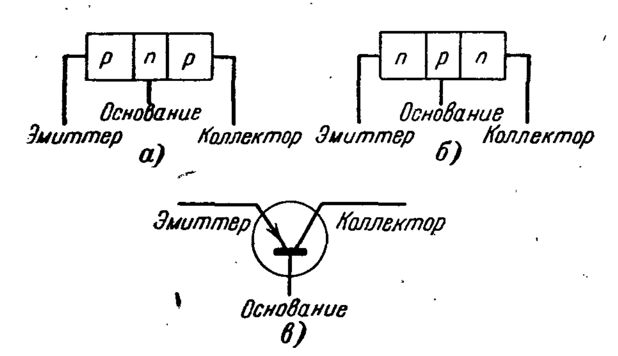
Во многих случаях токи в обеих цепях могут быть одной и той же величины. Однако благодаря большому различию между величинами полных сопротивлений входа и выхода триода последний обладает большим коэффициентом усиления по мощности.

В литературе, посвященной полупроводниковым приборам, приняты следующие обозначения: левый вывод (электрод) триода, показанный на фиг. 2, называется эмиттером, центральный — основанием (иногда базой) и правый — коллектором.

Участок эмиттер — основание при подаче напряжения смещения в прямом направлении, создающей малое сопротивление, образует цепь с малым полным сопротивлением. Цепь коллектора (выходная), напряжение смещения которой подано в обратном направлении, обладает высоким полным сопротивлением. Разница в значениях полных сопротивлений входной и выходной цепей позволяет использовать полупроводниковый триод в качестве усилителя, несмотря на то, что токи в цепях эмиттера и коллектора могут иметь почти одинаковые значения.

Для полупроводниковых триодов типа *p-n-p* применяется напряжение питания (смещения) противоположной полярности и используется дырочная проводимость, а не электронная. В остальном принцип действия этих триодов такой же, как описан выше.

На фиг. 3, *а* и *б* схематически показаны триоды обоих типов проводимости. Противоположные стороны пластин образуют эмиттер и коллектор, а между ними располагается пластина основания, толщина которой составляет тысячные доли сантиметра.

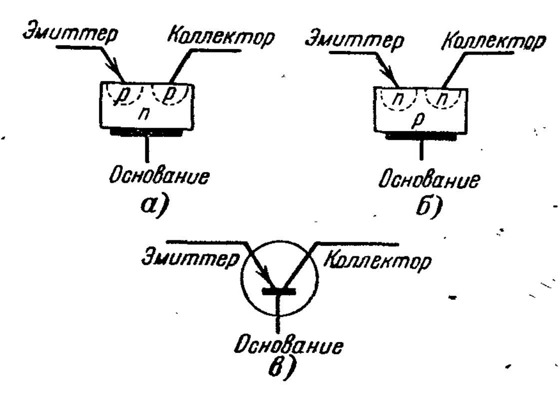


Фиг. 3. Устройство триодов плоскостного типа и их обозначение на схеме.

На фиг. 3, *в* представлено изображение триодов на схемах. Основание обозначается прямой жирной линией, а эмиттер и коллектор линиями, расположенными под некоторым углом к основанию. Линия, обозначающая эмиттер, отличается стрелкой, направленной в сторону основания для триодов типа *p-n-p* и в противоположную сторону для триодов типа *n-p-n*. В последнее время, правда, встречается иногда одинаковое обозначение триодов обоих типов проводимости.

Существуют полупроводниковые триоды так называемого точечного типа, в которых связь между эмит-

тером и коллектором осуществляется при помощи очень тонких проводов, касающихся смежных точек на поверхности кристалла (фиг. 4). Обычно диаметр кристалла, из которого изготовляют точечный триод, не превышает 0,1 *см* и имеет толщину около 0,02 *см*. Контакты проводников на поверхности кристалла расположены друг от друга на расстоянии нескольких тысячных долей сантиметра.

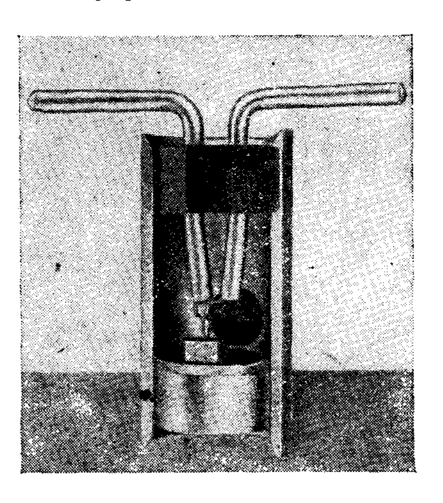


Фиг. 4. Устройство триодов точечного типа и их обозначение на схеме.

В конструкции, схематически показанной на фиг. 4, *а*, применен кристалл с проводимостью типа *n*. В процессе изготовления триод проходит формовку, во время которой около каждого из контактов образуется небольшая область с проводимостью типа *p*. Таким образом, эмиттер и коллектор соединены с материалом типа *p*, а между ними расположен материал типа *n*. Поэтому точечный триод с проводимостью типа *n* по своим свойствам и работе аналогичен триоду типа *p-n-p*, так как в обоих случаях контакты эмиттера и коллектора соединены с материалом типа *p*, а контакт основания — с материалом типа *n*.

На фиг. 4, *б* представлен триод, основание которого изготовлено из материала типа *p*. Около эмиттера и коллектора имеются небольшие участки материала типа *n*, образующиеся при формовке. Во многих отношениях такой триод эквивалентен триоду типа *n-p-n*. Изображение точечного триода на схемах приведено на фиг. 4, *в*.

Увеличенная модель конструкции точечного триода показана на фиг. 5. Небольшой куб на этой модели представляет собой полупроводник.



Фиг. 5. Фотография модели точечного триода в разрезе.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТРИОДОВ

Типы устройств. По конструктивному признаку полупроводниковые триоды делятся на точечные и плоскостные.

У точечных триодов основание может иметь проводимость типа *p* или типа *n*.

Плоскостные триоды делятся на триоды типа *p-n-p* и типа *n-p-n*.

Физические характеристики. Все полупроводниковые триоды имеют очень небольшие размеры, не превышающие долей сантиметра во всех направлениях; вес триодов измеряется граммами.

Полупроводниковые кристаллы вплавляются в пластмассу или стекло для большей механической прочности и имеют металлическую оболочку. Встречаются также герметизированные образцы, обладающие повышенной стабильностью в разных условиях работы.

На работу полупроводниковых триодов вредно влияет как температура окружающей среды, так и влажность. Лучшие образцы современных полупроводниковых триодов не могут работать при температуре выше 100° С. Обычно же температура окружающей среды не должна превышать $+40 \div 50°$ С. Для защиты от большой влажности следует принимать особые меры.

Электрические характеристики. Электрические свойства полупроводниковых триодов характеризуются: 1) максимальными режимами; 2) типовыми рабочими или средними характеристиками и 3) графиками.

Максимальные режимы нельзя превышать ни при каких условиях работы. Знание максимальных режимов чрезвычайно важно для радиолюбителя, работающего с полупроводниковыми триодами.

В большинстве случаев в максимальных режимах указывают наибольшее значение тока коллектора (*ма* или *мка*), наибольшие значения тока и напряжения на эмиттере (*ма, мка* и *в*), а также максимальную мощность рассеяния на коллекторе (*вт* или *мвт*). Для точечных триодов принято указывать также наибольшее значение обратного напряжения на эмиттере. Величина мощности рассеяния указывается для определенной температуры окружающей среды.

Типовые рабочие характеристики могут изменяться в широких пределах в зависимости от рабочих условий, принимаемых за типовые.

С практической точки зрения при разработке схем на полупроводниковых триодах не обязательно точно следовать типовым рабочим характеристикам, но нельзя превышать максимальные режимы.

К типовым рабочим характеристикам относятся такие величины, как напряжение коллектора, ток эмиттера, коэффициент усиления по току, ток отсечки, усиление мощности, полное входное сопротивление, полное выходное сопротивление, выходная емкость, коэффициент шумов, предельная рабочая частота, выходная мощность и величина искажений. Иногда указывают дополнительные данные, к которым относятся: сопротивление основания, выходная проводимость и ряд других характеристик. Такие характеристики, как усиление мощности, входное и выходное полные сопротивления, мощность на выходе и значения выходной емкости в большей мере

определяются выбранной схемой включения полупроводникового триода. Обычно приводимые характеристики относятся к схемам с общим заземленным основанием, если нет особой оговорки.

Коэффициент усиления по току полупроводникового триода принято обозначать греческой буквой α. Этот коэффициент для плоскостных триодов не может быть больше единицы, тогда как для точечных триодов величина α может быть равна нескольким единицам.

Величина α дает представление об усилении полупроводникового триода и определяется как отношение изменения тока коллектора к определенному изменению тока эмиттера при постоянном потенциале на коллекторе.

Ток отсечки — это ток, протекающий при нулевом токе основания и при постоянном напряжении, приложенном между эмиттером и коллектором. Значение тока отсечки обычно указывают для плоскостных триодов. Как правило, ток отсечки лежит в пределах 5—25 *мка*; в отдельных случаях он может иметь как более высокие, так и более низкие значения [1].

Усиление и коэффициент шумов указываются в децибелах.

Внутренние шумы в полупроводниковых триодах возникают в основном из-за движения дырок и электронов в полупроводнике.

Коэффициент шумов у плоскостных триодов ниже, чем у точечных, но оба типа триодов имеют коэффициенты шумов, значительно больше, чем электронная лампа, дающая то же усиление. Коэффициент шумов полупроводниковых триодов плоскостного типа заметно зависит от напряжения на коллекторе и, следовательно, от выбора рабочей точки на характеристике; в большинстве случаев с уменьшением напряжения на коллекторе шумы уменьшаются.

Для осуществления связи между каскадами на полупроводниковых триодах при подаче сигнала на вход схемы большое значение имеют величины входного и выходного полных сопротивлений. Они меняются в широких

[1] Иногда током отсечки считают ток коллектора, который протекает при нулевом токе эмиттера. Такое определение применимо для схем с общим основанием и им обычно пользуются для точечных триодов.

пределах в зависимости от выбранной схемы включения, но в большинстве случаев входное полное сопротивление имеет низкое или среднее значение, а выходное сопротивление бывает только высоким.

Типовые значения выходной емкости полупроводниковых приборов в большинстве случаев бывают меньше 100 *пф*.

Предельной рабочей частотой (или частотой спада) обычно называют ту частоту, на которой коэффициент α падает на 3 *дб* по сравнению с его наибольшим значением (обычно на частоте 1 000 *гц* или ниже). Падение усиления триода по мере роста рабочей частоты вызывается двумя причинами. Во-первых, для того, чтобы электроны могли переместиться по полупроводнику, а дырки перейти с одного места на другое, требуется время. Каждое из этих перемещений происходит медленнее, чем движется поток электронов в электронной лампе, а дырки вообще перемещаются гораздо медленнее, чем электроны.

Другой причиной является наличие внутренних емкостей между электродами триода. Для уменьшения времени перемещения электронов и дырок в точечных триодах нужно уменьшать расстояние между контактами, а в плоскостных триодах уменьшать толщину слоя основания.

К сожалению, оба эти изменения конструкции триода, уменьшая время перемещения электронов, увеличивают внутренние емкости триода, что, в свою очередь, ограничивает предельную рабочую частоту.

Предельные рабочие частоты плоскостных триодов лежат в полосе звуковых частот, хотя теперь уже созданы образцы триодов, работающих и на радиочастотах.

Точечные триоды могут применяться на более высоких частотах; некоторые из них способны работать в схемах генераторов на частотах порядка сотен мегагерц.

Независимо от типа полупроводниковые триоды обычно в схеме генератора работают на более высоких частотах, чем в схеме усилителя.

Выходная мощность, которую отдает полупроводниковый триод, зависит от выбора схемы, рабочих токов и напряжений, амплитуды сигнала на входе и от характеристик самого триода.

Максимальное значение выходной мощности, которую может отдать триод, зависит от его максимальной мощности рассеяния и от эффективности выбранной схемы.

Как и для электронных ламп, принято указывать не только цифровые величины типовых характеристик, но и приводить семейство графиков, служащих для выбора рабочих условий в практических схемах. Как и в случае данных, приводимых для электронных ламп, эти цифры и графики следует считать приближенными и типовыми для средних образцов триодов данного типа.

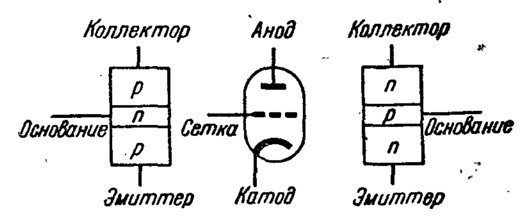
СХЕМЫ УСИЛИТЕЛЕЙ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТРИОДАХ

Схемы усилителей на полупроводниковых триодах аналогичны схемам на лампах. Это подобие относится только к схемам, а не к принципу работы полупроводникового триода и лампы.

Полупроводниковый триод работает как усилитель тока и требует для своей работы питания от источника постоянного тока. Электронная лампа является усилителем напряжения и лучше работает при питании от источника постоянного напряжения.

Кроме того, большинство ламповых схем имеют значительные входные и выходные полные сопротивления. Схемы же на полупроводниковых триодах, как правило, имеют небольшие значения входных полных сопротивлений и более высокие значения выходных полных сопротивлений. В электронных лампах входной сигнал изолирован от выходного достаточно хорошо, что не всегда можно сказать про схемы на полупроводниковых триодах. Частотные характеристики полупроводниковых триодов из-за большого времени перемещения электронов и дырок хуже ламповых.

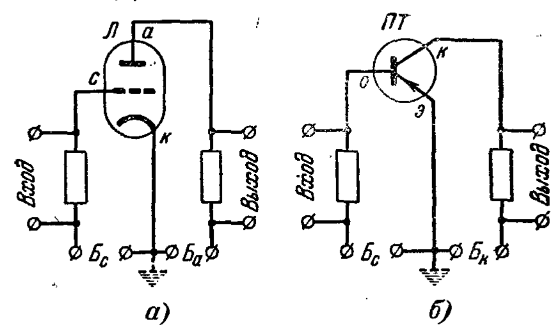
Сходство схем усилителей на полупроводниковых триодах и усилителей на электронных лампах легче заметить, если рассматривать электроды полупроводникового триода как аналогичные, но не эквивалентные соответствующим электродам электронной лампы (фиг. 6). Коллектор полупроводникового триода соответствует аноду, основание — сетке, а эмиттер — катоду электронной лампы.



Фиг. 6. Подобие электродов электронной лампы электродам триодов типа *p-n-p* и типа *n-p-n*.

Существуют три основные схемы усилителей на электронных лампах, причем в каждой из них заземлен один электрод. Так, существуют усилители с заземленным катодом, заземленным анодом (или катодный повторитель) и с заземленной сеткой. По аналогии схемы усилителей на полупроводниковых триодах получили название: схема с заземленным коллектором, заземленным эмиттером и заземленным основанием. Рассмотрим каждую из трех схем.

Усилитель с заземленным эмиттером. На фиг. 7, *а* представлена схема усилителя на электронной лампе (*Л*) с заземленным катодом. Входной сигнал подается на участок сетка (*с*) — катод (*к*), а выходной сигнал снимается с участка анод (*а*) — катод (*к*). Среднее напряжение на сетке определяется напряжением смещения от батареи $Б_c$, а среднее напряжение на аноде по отношению к катоду определяется постоянным напряжением на аноде от батареи $Б_a$. Катод, таким образом, является общим



Фиг. 7. Схема с заземленным катодом электронной лампы (*а*) и с заземленным эмиттером полупроводникового триода (*б*).

как для входного, так и для выходного сигналов и может быть заземлен.

На фиг. 7, *б* представлена схема усилителя на полупроводниковом триоде *ПТ*. Входное напряжение прикладывается между основанием *о* и эмиттером *э*. Средний потенциал основания по отношению к эмиттеру определяется напряжением смещения от батареи $Б_c$. Однако работа схемы определяется не напряжением смещения, а током смещения.

Выходной сигнал снимается с участка коллектор (*к*) — эмиттер (*э*), а средний потенциал коллектора определяется постоянным напряжением на нем от батареи $Б_к$. Во многих случаях действующее значение напряжения на коллекторе оказывает очень небольшое влияние на величину тока коллектора, который является функцией тока смещения.

При подаче сигнала на вход схемы ток смещения меняется относительно своего среднего значения. Соответствующие изменения, но значительно большей амплитуды появляются в цепи коллектора, вызывая выделение на нагрузке усиленного входного сигнала. Хотя эта схема и называется схемой с заземленным эмиттером, но последний не обязательно должен быть заземлен, а может быть и просто общим для входного и выходного сигналов.

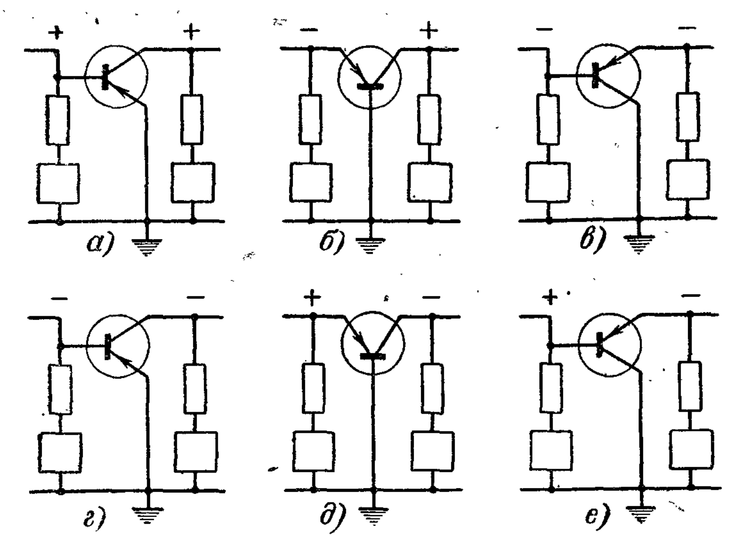
Заметим, что на фиг. 7 полярность источников питания постоянного тока не указана, так как она зависит от типа применяемого триода.

Полярности напряжений обычно указываются по отношению к заземленному электроду. Полярность входных электродов иногда может быть и обратной, например, в том случае, когда смещающее напряжение на самом электроде равно 0,2 *в* или меньше. В некоторых случаях можно увеличить усиление или уменьшить искажения, подав напряжения смещения в обратной полярности.

На фиг. 8, *а*, *б* и *в* показана правильная полярность напряжений для плоскостных триодов типа *n-p-n* или для точечных триодов, основание которых сделано из материала типа *p*. Полярность напряжения на электродах коллектор — эмиттер такая же, как и в электронной лампе. Таким образом, как анод лампы имеет положительный потенциал по отношению к катоду, точно так

же и коллектор триода типа *n-p-n* положителен по отношению к эмиттеру.

На фиг. 8, *г*, *д* и *е* показаны относительные полярности для плоскостных триодов типа *p-n-p* или для точечных, основание которых сделано из материала типа *n*.



Фиг. 8. Полярности напряжений на триодах по отношению к общему или заземленному электроду.

Нетрудно видеть, что полярность напряжений в этом случае противоположна предыдущей.

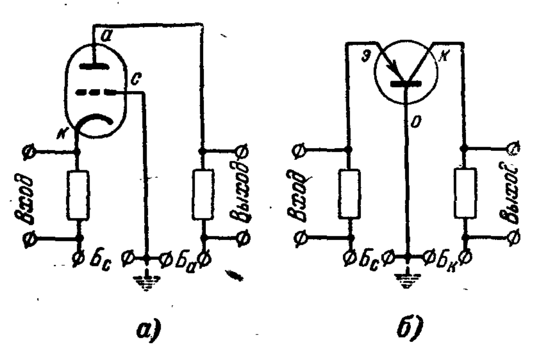
При работе с полупроводниковыми триодами чрезвычайно важно соблюдать правильную полярность прикладываемых напряжений смещения. Если на анод электронной лампы подать отрицательное напряжение, то она не выйдет из строя, тогда как подача напряжения другой полярности на полупроводниковый триод мгновенно выведет его из строя.

Поток электронов в цепях с полупроводниковыми триодами аналогичен току, текущему в любой электрической цепи. Электроны движутся от более отрицательного потенциала к менее отрицательному.

В схеме с заземленным эмиттером ток цепи коллектор — эмиттер может достигать нескольких миллиампер,

тогда как ток цепи основание — эмиттер может иметь значение от 10 до нескольких сотен микроампер.

Схема с заземленным эмиттером характеризуется таким входным полным сопротивлением, величина которого колеблется от низких до умеренных значений, и



Фиг. 9. Схема с заземленной сеткой электронной лампы (*а*) и с заземленным основанием полупроводникового триода (*б*) (схемы аналогичны, но не эквивалентны).

умеренно большим значением выходного полного сопротивления. У типовых плоскостных триодов входное полное сопротивление может иметь значения от 300 до 1 500 *ом*, а выходное сопротивление может быть того же порядка или несколько выше.

Усилитель с заземленным эмиттером, не обладая такой же стабильностью усиления, какая свойственна схеме с заземленным основанием, имеет зато наибольший коэффициент усиления из всех трех возможных схем усилителей на полупроводниковых триодах.

Усилитель с заземленным эмиттером переворачивает фазу сигнала, т. е. если на вход усилителя поступает сигнал положительной полярности, то на выходе он имеет отрицательную полярность.

Усилитель с заземленным основанием. Иногда ламповые усилители выполняются на триоде с заземленной сеткой. Упрощенная схема такого усилителя представлена на фиг. 9, *а*. Входной сигнал прикладывается между катодом и сеткой, а напряжение смещения от батареи $Б_с$ между катодом и землей, что эквивалентно приложению смещения между сеткой и катодом. Выходное напряже-

ние можно снимать с участка анод — сетка. Средний потенциал на аноде определяется постоянным напряжением на нем от батареи $Б_a$.

Аналог этой схемы при применении полупроводникового триода представлен на фиг. 9, *б*. Входной сигнал прикладывается между эмиттером, соответствующим катоду лампы, и основанием, сравнимым с сеткой лампы. Средний потенциал эмиттера по отношению к основанию определяется напряжением смещения во входной цепи от батареи $Б_c$. Выходное напряжение снимается с участка между коллектором и основанием, причем постоянное напряжение на коллектор подается с отдельной батареи $Б_к$.

Как и в случае схемы с заземленным эмиттером, основание в схеме с заземленным основанием не обязательно должно быть присоединено к заземлению; достаточно, чтобы этот электрод триода был общим для входной и выходной цепей.

Входное полное сопротивление схемы усилителя с заземленным основанием очень мало (меньше 100 *ом*), а выходное сопротивление очень велико. Несмотря на такую разницу величин полных сопротивлений, постоянные токи эмиттера и коллектора могут иметь один и тот же порядок величины. В этой схеме переменный сигнал, прикладываемый между эмиттером и основанием, вызывает колебания тока, в результате чего усиленный сигнал появляется на нагрузке коллектора. Таким образом, хотя усиление сигнала в усилителе с заземленным основанием возможно и дает определенное усиление мощности, все же это усиление образуется исключительно благодаря разнице в величинах полных сопротивлений входной и выходной цепей. Усиление тока в схеме с заземленным основанием всегда меньше единицы (для полупроводниковых триодов плоскостного типа).

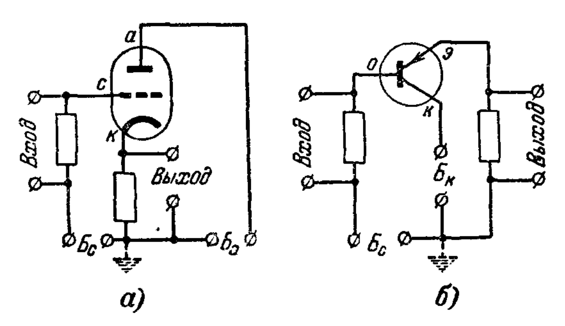
Полярность постоянных напряжений в схеме усилителя с заземленным основанием указаны на фиг. 8, *б* и *д*. Для разных типов триодов требуются и различные полярности напряжений.

В усилителе с заземленным основанием не происходит переворачивания фазы входного сигнала.

Усилитель с заземленным основанием обладает умеренным коэффициентом усиления по мощности и хорошей стабильностью. Эта схема пользуется большой по-

пулярностью. Однако в ней чаще применяют триоды точечного типа, а не плоскостные.

Усилитель с заземленным коллектором. Ламповый усилитель с заземленным анодом более известен под названием катодного повторителя. Принципиальная схема катодного повторителя показана на фиг. 10, *а*. На фиг. 10, *б* представлена аналогичная схема с полупроводниковым триодом.



Фиг. 10. Схема катодного повторителя (с заземленным анодом) на электронной лампе (*а*) и с заземленным коллектором на полупроводниковом триоде (*б*) (обе схемы применяются для согласования полных сопротивлений).

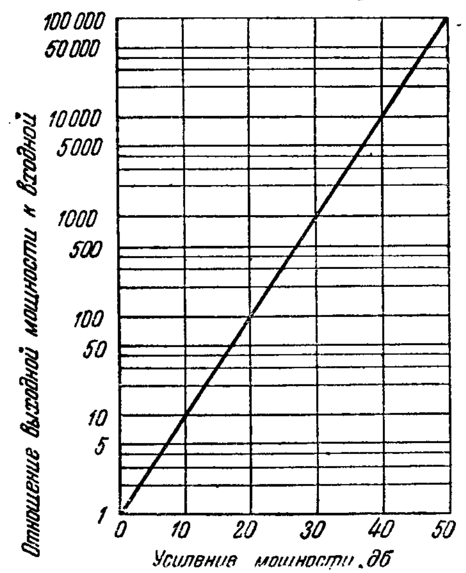
Входной сигнал в схеме катодного повторителя подается на участок между сеткой и заземленным анодом, а выходной сигнал снимается с сопротивления нагрузки, включенного между катодом и землей. Таким образом, анод в этой схеме является общим электродом для входного и выходного сигналов.

В усилителе с заземленным коллектором на полупроводниковом триоде входной сигнал прикладывается между основанием и заземленной стороной цепи коллектора, а выходной сигнал снимается с нагрузки, расположенной между эмиттером и землей. Коллектор, таким образом, становится общим электродом для входного и выходного сигналов.

Как и в случае других схем на полупроводниковых триодах, напряжение смещения и напряжение на коллектор подаются от источников постоянного тока. Полярность этих напряжений указана на схемах фиг. 8, *в* и *е*.

Схема усилителя с заземленным коллектором отличается от других схем включения полупроводниковых триодов тем, что ее полные сопротивления могут принимать относительно высокие значения, приближаясь иногда к значениям входных полных сопротивлений для электронной лампы. Однако величина входного полного сопротивления в этой схеме зависит от сопротивления нагрузки; поскольку же выходное полное сопротивление схемы велико, то эту особенность можно использовать для согласования полных сопротивлений.

Усилитель с заземленным коллектором может обеспечить большое усиление по току и довольно значительное усиление мощности. К сожалению, усиление мощности уступает той величине, которую дают усилители с заземленным эмиттером и заземленным основанием. Усиление по напряжению в этой схеме не может быть больше единицы и, следовательно, как усилитель напряжения схема непригодна. Добавим, что схеме этого усилителя присуща еще одна особенность, которой не обладают



Фиг. 11. График для пересчета усиления мощности в децибелах в коэффициент усиления мощности, т. е. для определения отношения между выходной и входной мощностями.

другие схемы: при определенных условиях эта схема может усиливать сигналы, поступающие как на вход, так и на выход ее. Можно поменять входную и выходную цепи, тем самым позволяя сигналу усиливаться в прямом или в обратном направлении.

Усиление в схемах на полупроводниковых триодах. Схемы на полупроводниковых триодах обычно дают усиление мощности, а не напряжения, которое получают чаще всего от электронных ламп (за исключением ламповых каскадов усиления мощности).

На фиг. 11 приведен график, позволяющий пересчитать усиление мощности (в децибелах) в коэффициент усиления мощности (отношение выходной мощности к входной).

При наличии достаточно хорошего согласования между полным сопротивлением источника сигнала и входным полным сопротивлением триода и постоянстве сигнала на входе входная мощность усилительного каскада на полупроводниковом триоде прямо пропорциональна его входному полному сопротивлению. При таких условиях для подачи на вход требуется сравнительно небольшая мощность, если входное полное сопротивление мало. Точно так же при постоянном выходном сигнале выходная мощность триода будет прямо пропорциональна выходному полному сопротивлению, если выходное полное сопротивление достаточно велико, чтобы создать сравнительно высокую выходную мощность при любом токе сигнала. Таким образом, как и в случае усилителя с заземленным основанием, когда входные и выходные токи имеют один и тот же порядок величины, отношения усиления при такой схеме усилителя равно отношению выходного и входного полных сопротивлений.

С другой стороны, когда токи входного и выходного сигналов не равны между собой, то входная и выходная мощности пропорциональны квадратам токов.

Действующее значение усиления мощности зависит не только от полных сопротивлений триода, но еще в большой степени от согласования полных сопротивлений источника питания и нагрузки, от типа выбранной схемы и от относительного значения потенциалов на входе и выходе электродов по отношению к общему или заземленному электроду. Усиление, которое может быть получено на практике, зависит от правильного расчета схемы.

Вообще говоря, плоскостные триоды могут дать бо́льшее усиление мощности, чем триоды точечного типа, при работе в одинаковых схемах. Однако усиление зависит от выбора схемы и, как мы уже видели, схема усилителя с заземленным коллектором дает значительно меньший коэффициент усиления, чем схемы с заземленным основанием или заземленным эмиттером.

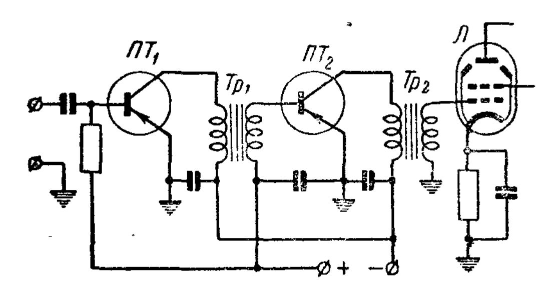
При выборе схем нужно учитывать так много переменных величин, что очень трудно назвать какие-либо определенные значения в качестве типовых коэффициентов усиления мощности. Все же средним значением коэффициента усиления для ряда схем, использующих плоскостные триоды в усилителях с заземленным эмиттером, можно считать 40 *дб*, в то время как для точечных образцов эта величина достигает лишь 25 *дб*. Схемы усилителей с заземленным коллектором дают усиление мощности порядка 15 *дб*, а схемы с заземленным основанием дают усиление, несколько меньшее, но приближающееся к значению усиления, получаемого в схеме с заземленным эмиттером.

Междукаскадная связь усилителей на полупроводниковых триодах. Для максимальной передачи мощности сигнала от источника на нагрузку полные сопротивления источника и нагрузки должны быть равны. Передача мощности быстро уменьшается, по мере того как полное сопротивление нагрузки становится меньше, чем полное сопротивление источника; оно уменьшается менее быстро, по мере того как полное сопротивление нагрузки становится больше полного сопротивления источника.

В однокаскадном усилителе имеются два источника питания и две нагрузки, требующие согласования полных сопротивлений. Первым является источник сигнала, подаваемый на вход триода, для которого входное полное сопротивление каскада на триоде является нагрузкой. Сам триод является вторым источником питания для своих выходных электродов. Для максимальной отдачи триода полное сопротивление нагрузки, параллельное его выходным электродам, должно приближаться или быть равным его внутреннему полному сопротивлению.

Как мы уже видели, входное и выходное полные сопротивления триода зависят от его типа, от рабочих условий и от схемы. Однако входное полное сопротивление каскада на триоде имеет сравнительно небольшие значения, тогда как выходное полное сопротивление велико, что создает дополнительные трудности при согласовании каскадов усиления.

Вероятно, простейшим способом связи двух каскадов усилителей на полупроводниковых триодах является применение трансформаторов между двумя каскадами. Такая схема представлена на фиг. 12. Два каскада усиления на плоскостных триодах $ПТ_1$ и $ПТ_2$, собранные по схеме с заземленным эмиттером, связаны при помощи трансформаторов $Тр_1$ и $Тр_2$ и служат для раскачки выходной лампы *Л* (лучевого тетрода).



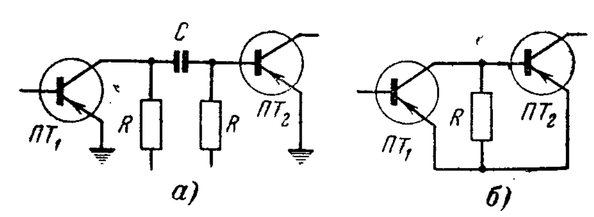
Фиг. 12. Трансформаторная связь между каскадами усилителя на полупроводниковых триодах.
Вторичная обмотка первого трансформатора понижающая, чтобы согласовать высокое выходное полное сопротивление первого каскада с низким входным полным сопротивлением второго каскада

Для согласования высокого выходного полного сопротивления первого каскада усилителя с низким значением входного полного сопротивления второго каскада служит трансформатор $Тр_1$ с понижающей обмоткой.

Для согласования полных сопротивлений можно также применять реостатно-емкостные цепи. Типичным примером такого согласования является схема, представленная на фиг. 13, *а*. В таких схемах предполагается, что емкость разделительного конденсатора *С* велика (в схемах усиления низкой частоты она достигает нескольких микрофарад), так что его реактивное сопротивление на частотах сигнала мало. Таким образом, можно считать, что при прохождении сигнала существует прямая гальваническая связь между выходом одного каскада и вхо-

дом последующего, как это показано на **эквивалентной** схеме (фиг. 13, *б*).

Это означает, что выходное полное сопротивление одного каскада и входное полное сопротивление другого включены параллельно, что дает суммарное полное сопротивление, меньшее наименьшего значения каждого из слагаемых. Из-за разброса внутренних полных сопротивлений триодов осуществить хорошее согласование невозможно и максимальная передача мощности между каскадами не достигается.



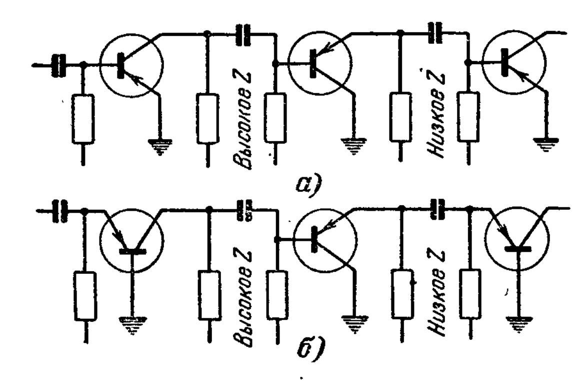
Фиг. 13. Междукаскадная связь при помощи *RC*-цепей (эквивалентная схема справедлива при условии, что емкость *C* велика и создает малое реактивное сопротивление на частотах сигнала).

Следовательно, усиление многокаскадного усилителя с реостатно-емкостной связью значительно меньше, чем при трансформаторной связи каскадов. В некоторых случаях только три или четыре каскада усиления с реостатно-емкостной связью могут дать то же значение усиления, которое имеет место при трансформаторной связи двух каскадов.

При согласовании полных сопротивлений каскадов при помощи реостатно-емкостной связи обычно применяют схему усилителя с заземленным эмиттером, которая дает небольшую разницу в значениях входного и выходного полных сопротивлений.

Достаточно хорошее согласование полных сопротивлений каскадов усиления на триодах, свободное от указанных выше недостатков согласования, при реостатно-емкостной связи, дает применение каскада с заземленным коллектором. Подобные схемы представлены на фиг. 14. На схеме фиг. 14, *а* триод с заземленным коллектором расположен между двумя триодами с заземленными эмиттерами, а на схеме фиг. 14, *б* показано,

как выполняется согласование полных сопротивлений двух триодов с заземленным основанием при помощи триода с заземленным коллектором. Триод с заземленным коллектором согласует высокое значение выходного полного сопротивления одного каскада с низким значением входного полного сопротивления второго каскада.



Фиг. 14. Примеры согласования полных сопротивлений путем введения каскада схемы с заземленным коллектором, имеющей высокое входное полное сопротивление и сравнительно невысокое выходное полное сопротивление.

Общие сведения. Схемы усилителей на полупроводниковых триодах достаточно успешно работают на низких частотах. При усилении высоких частот большие значения входных емкостей, равно как и сравнительно большое время перехода электронов в триодах, снижают результирующее усиление таких схем по сравнению с усилением на низких частотах.

Если желательно получить бо́льшую мощность, чем может дать один каскад усиления на полупроводниковом триоде, то следует использовать двухтактный режим работы.

Если требуется еще более высокая выходная мощность, то усилитель на полупроводниковом триоде можно использовать как предоконечный усилитель, подающий напряжение раскачки на каскад с электронной лампой (фиг. 12). В тех случаях, когда искажения и шумы должны быть малы, часто приходится прибегать к отдельной подгонке работы каждого каскада для обеспе-

чения оптимальных условий или, если это экономически допустимо, к введению дополнительных каскадов и обеспечению работы каждого триода в его максимальном режиме.

Вообще говоря, схемы усилителей с заземленным эмиттером и заземленным основанием применяют в тех случаях, когда желательно усиление сигнала, причем схема с заземленным эмиттером более популярна при использовании плоскостных триодов, а схема с заземленным основанием при использовании точечных триодов. Схема усилителя с заземленным коллектором служит в основном для согласования полных сопротивлений между каскадами.

СХЕМЫ ГЕНЕРАТОРОВ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТРИОДАХ

Генератор колебаний представляет собой усилитель, в схеме которого введена положительная обратная связь между входной и выходной цепями. Естественно поэтому пользоваться характеристиками усилительных схем на триодах при разработке схем генераторов.

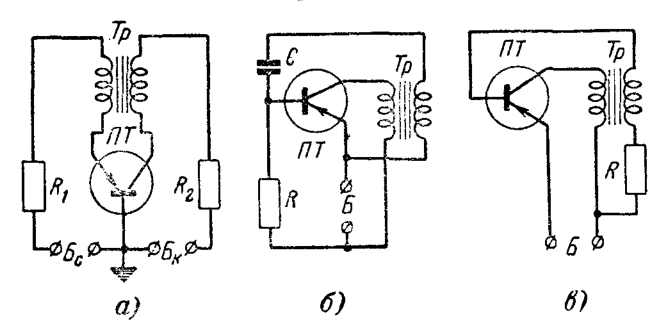
В схеме генератора на полупроводниковом триоде цепь обратной связи выполняет следующие функции: а) подает в фазе сигнал обратной связи; б) подводит этот сигнал достаточным по величине для компенсаций потерь в схеме и обеспечения таким образом условий возникновения и поддержания генерации; в) служит для согласования входного и выходного полных сопротивлений триода; г) в ряде случаев схема обратной связи определяет частоту колебаний генератора.

Если требуется определенная частота колебаний, создаваемых генератором, то в цепь обратной связи вводятся индуктивно-емкостные или реостатно-емкостные настроенные контуры. Для стабилизации работы генератора взамен настроенных контуров применяют пластины кварца.

Существует большое число возможных схем генераторов на полупроводниковых триодах, в которых работают триоды различного типа, применяются различные схемы включения (схема с заземленным основанием или схема с заземленным эмиттером), а также разные способы подведения энергии обратной связи от выходной

цепи ко входной. Мы рассмотрим несколько наиболее употребительных схем. Следует иметь в виду, однако, что описанные схемы не исчерпывают все возможные способы генерации колебаний.

Схемы генераторов с обратной связью. В схемах, показанных на фиг. 15, трансформатор *Тр* обеспечивает согласование между входными и выходными цепями, необходимое для возникновения и поддержания колебаний. Отношение числа витков обмоток трансформатора должно обеспечивать согласование высокого выходного и низкого входного полных сопротивлений.



Фиг. 15. Схемы генераторов с трансформаторной связью на полупроводниковых триодах.

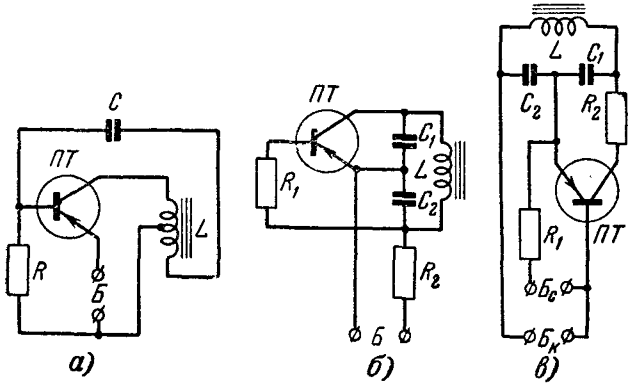
На фиг. 15, *а* показана схема генератора с заземленным основанием, а на фиг. 15, *б* — с заземленным эмиттером. Схема, представленная на фиг. 15, *в*, является модификацией схемы фиг. 15, *б* и часто применяется там, где желательна работа схемы блокинг-генератора. В схеме с заземленным основанием (фиг. 15, *а*) сопротивление R_1 ограничивает ток эмиттера, а сопротивление R_2 — ток коллектора. В схеме с заземленным эмиттером (фиг. 15, *б* и *в*) сопротивление *R* ограничивает как ток основания, так и ток коллектора.

Полярность батарей, питающих основание и коллектор, не указана, так как она зависит от выбора типа триода, как об этом уже говорилось ранее.

Частота колебаний генератора, равно как и форма их, зависит от типа трансформатора, хотя в ряде случаев можно настроить колебательный контур, присоединив конденсаторы параллельно первичной или вторичной (или обеим) обмоткам трансформатора.

В схеме, показанной на фиг. 15, *б*, частота колебаний определяется в основном постоянной времени *RC*.

Генераторы с индуктивной и емкостной связями. В схеме генератора на электронной лампе с индуктивной связью используется катушка индуктивности с отводами для подбора величины обратной связи, необходимой для поддержания колебаний. Ламповый генератор с емкостной связью отличается тем, что в его схеме используются два конденсатора, соединенные последовательно, вместо секционированной катушки индуктивности.



Фиг. 16. Схемы генераторов с индуктивной и емкостной связями.

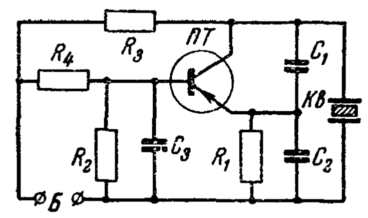
Аналогичные схемы генераторов на полупроводниковых триодах представлены на фиг. 16. Схема фиг. 16, *а* является аналогом схемы генератора с индуктивной связью, а схемы фиг. 16, *б* и *в* подобны схемам генераторов с емкостной связью. В первых двух схемах заземлен эмиттер, а в третьей схеме заземлено основание.

Работа генератора с индуктивной связью (фиг. 16, *а*) на полупроводниковом триоде *ПТ* аналогична работе описанного выше генератора с трансформаторной связью, с той лишь разницей, что в этой схеме используется секционированная катушка индуктивности *L*. Величина сопротивления *R* определяет как ток основания, так и ток коллектора.

В идеале катушка для рассматриваемой схемы должна иметь отвод от такого количества витков, которое обеспечивает согласование полных сопротивлений между

цепями коллектора и основания. Однако генерация колебаний возможна даже и при отсутствии такого согласования, причем получаемый сигнал не обязательно должен иметь синусоидальную форму. Иногда даже можно применять катушку индуктивности с отводом от средней точки.

В схемах генераторов с емкостной связью (фиг. 16, *б* и *в*) основное значение имеет отношение двух реактивных сопротивлений емкостного характера, позволяющее осуществить необходимое согласование полных сопротивлений между входной и выходной цепями. В обоих случаях используется составной конденсатор, состоящий из



Фиг. 17. Схема генератора с кварцевой стабилизацией частоты.

двух конденсаторов C_1 и C_2, включенных последовательно. Практичекая емкость C_2 приблизительно в 10 раз больше емкости C_1. Частота колебаний такого генератора в основном определяется параметрами колебательного контура, образованного из L, C_1 и C_2.

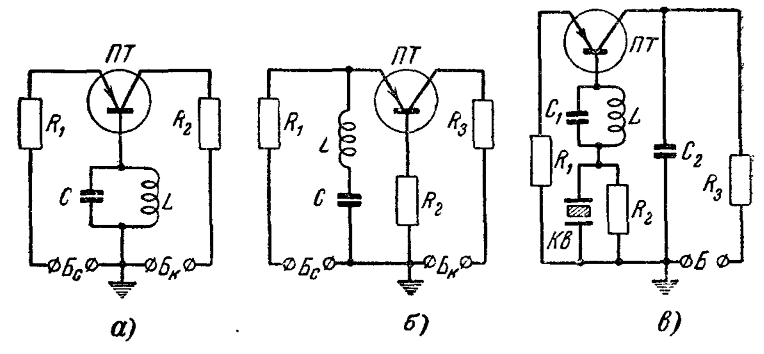
В схеме, показанной на фиг. 16, *б*, ток коллектора определяется величинами сопротивлений R_1 и R_2. В большинстве случаев R_1 бывает больше R_2 (точное соотношение между ними определяется работой схемы).

Для получения чисто синусоидальных колебаний нужно тщательно подобрать величины сопротивлений R_1 и R_2. Нужно заметить, что эти сопротивления, кроме того, стабилизируют питание схемы от источника постоянного тока.

В схеме, показанной на фиг. 16, *в*, ток эмиттера зависит от величины сопротивления R_1, а ток коллектора от величины сопротивления R_2. Катушка индуктивности L может быть секционированной.

В тех случаях, когда генератор должен давать колебания высокой стабильности, в схему можно ввести пластину кварца. Одна из таких схем, специально для применения плоскостного триода, показана на фиг. 17. Другая схема, на точечном триоде, представлена на фиг. 18, *в*.

Специальные схемы генераторов с заземленным основанием. Схемы, показанные на фиг. 18, пригодны в том случае, если коэффициент α (усиление по току) применяемого триода больше единицы, т. е. схемы предназначены для применения точечных триодов.



Фиг. 18. Схемы генераторов с заземленным основанием, предназначенные для применения точечных триодов.

Обратная связь, необходимая для возникновения и поддержания колебаний, обеспечивается высоким значением полного сопротивления в схеме с заземленным основанием. Напряжение, возникающее на этом полном сопротивлении, благодаря протеканию токов коллектора и основания, является общим и для цепи эмиттер — основание. Сопротивление R_1 ограничивает ток эмиттера, а сопротивление R_2 — ток коллектора.

В схеме с заземленным основанием колебания возникают и поддерживаются тремя способами: а) при помощи полного сопротивления большой величины в цепи основания; б) при помощи полного сопротивления небольшой величины в цепи эммитера; в) при помощи сопротивления небольшой величины в цепи коллектора.

Практически высокое полное сопротивление в цепи основания схемы фиг. 18, *а* получается благодаря наличию колебательного контура из L и C. В схеме на фиг. 18, *б* колебания определяются наличием низкоомного последовательного контура из L и C между эмиттером и землей. Сопротивление R_2 включено для увеличения внутреннего сопротивления основания триода и, таким образом, помогает поддерживать колебания. Если триод имеет высокое внутреннее сопротивление основания, то колебания могут существовать и без сопротивления R_2.

Схема, представленная на фиг. 18, *в*, работает аналогично схеме фиг. 18, *а*, за исключением того, что частота колебаний определяется пластиной кварца *Кв*.

Схемы блокинг-генераторов. Любая из схем, представленных на фиг. 15, *б* или 16, *а*, может работать как блокинг-генератор при правильном подборе сопротивления R, конденсатора C и трансформатора *Тр* (или катушки L). В качестве блокинг-генераторов эти схемы создают хорошо сформированные импульсы с широким диапазоном частот повторения.

Когда обе схемы работают в качестве блокинг-генераторов, частота колебаний определяется в основном постоянной времени RC. Длительность импульсов определяется параметрами примененного трансформатора (или катушки).

Вообще говоря, блокинг-генератор начинает работать, когда между цепями основания и коллектора может возникнуть сильная обратная связь. Конденсатор C быстро заряжается через триод и медленно разряжается через R. Во время разряда конденсатора может протекать только небольшой ток коллектора, а иногда он полностью отсутствует.

Таким образом, среднее значение тока коллектора зависит от величины сопротивления R, что часто необходимо принимать в расчет, равно как и значения RC, в соответствии с нужной частотой колебаний. Несколько разные значения постоянной времени RC могут дать то же значение частоты колебаний, но только некоторые варианты сочетаний обеспечивают требуемую стабильность работы и экономичность схемы, необходимую в ряде случаев.

Поскольку значения параметров R и C довольно трудно вычислить, целесообразно подобрать их экспериментальным путем.

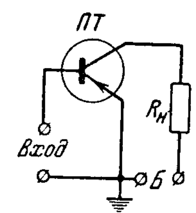
Зак. 1124

РАЗЛИЧНЫЕ СХЕМЫ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТРИОДАХ

Применение полупроводниковых триодов не ограничивается их работой в схемах генераторов и усилителей. Полупроводниковые приборы в равной мере хорошо работают в качестве детекторов, ограничителей, мультивибраторов или фазоинверторов. С учетом их рабочей частоты и мощности полупроводниковые приборы применимы почти всюду, где ранее использовались только электронные лампы.

Радиоинженерам, техникам, студентам и радиолюбителям могут понадобиться такие схемы, поэтому ниже мы даем краткий обзор этих схем.

Усилитель постоянного тока. Плоскостной триод, работающий в схеме с заземленным эмиттером, может работать в качестве усилителя постоянного тока. Основная схема такого усилителя представлена на фиг. 19.

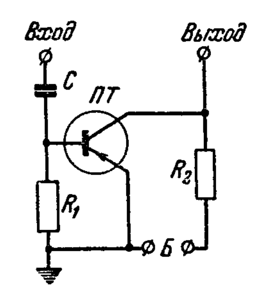


Фиг. 19. Схема усилителя постоянного тока.

Небольшой постоянный ток, поданный в цепь основание — эмиттер, может управлять гораздо большими значениями токов в цепи коллектор—эмиттер. Практически сравнительно легко получить коэффициент усиления по току в 10 или 12 раз. При значении тока в цепи основание—эмиттер, равном 100 *мка*, ток через нагрузку $R_н$ может достигать 1 *ма* и более.

Нагрузка необязательно должна быть активным сопротивлением; такой нагрузкой могут служить также реле, измерительный прибор, небольшой электродвигатель и т. п. Поэтому триод в такой схеме как бы повышает действующую чувствительность реле или измерительного прибора в 10 раз или больше. Величина напряжения постоянного тока, равно как и полярность источника питания, зависят от типа триода и от режима работы схемы.

Детектор сигналов высокой частоты. Входная цепь усилителя на триоде при работе без подачи напряжения смещения действует подобно кристаллическому детектору. Таким образом, полупроводниковый триод может выпрямлять приложенное переменное напряжение или детектировать амплитудно-модулированные сигналы высокой частоты. Соответствующая схема показана на фиг. 20.



Фиг. 20. Схема детектора сигналов высокой частоты.

Практически полупроводниковый триод детектирует так же, как любой диод, будь то электронная лампа или полупроводниковый прибор. Так как диод пропускает ток в одном направлении лучше, чем в другом, то как положительные, так и отрицательные полупериоды синусоидального колебания могут быть выпрямлены, и в результате будет получен пульсирующий ток. При полупроводниковом триоде выпрямленный ток будет протекать в цепи основание—эмиттер. Пиковое значение пульсирующего тока будет меняться в соответствии с модуляцией сигнала высокой частоты.

Выпрямленный сигнал, таким образом, содержит как переменную составляющую (звуковая модуляция), так и постоянную составляющую (среднее значение). Постоянная составляющая служит для создания напряжения смещения на триоде и позволяет усилить переменную составляющую, появляющуюся в виде напряжения звуковой частоты на нагрузке коллектора. Пульсации высокой частоты частично сглаживаются из-за больших собственных емкостей и плохой частотной характеристики полупроводникового триода в области высоких частот. Если такого сглаживания недостаточно, то пульсации могут быть устранены включением между коллектором и землей небольшой емкости.

Описанная схема выполняет одновременно две функции: она детектирует сигналы высокой частоты и затем усиливает полученные колебания звуковой частоты.

Ограничитель синусоидальных колебаний. Описанный выше детектор сигналов высокой частоты может также служить ограничителем синусоидальных колебаний. При подаче на вход схемы чисто синусоидального напряжения достаточной амплитуды на выходе благодаря диодному действию цепи основание — эмиттер срезаются верхушки либо положительных, либо отрицательных полупериодов колебаний (в зависимости от типа примененного триода).

Противоположные пики напряжения ограничиваются по амплитуде вследствие падения напряжения на нагрузке коллектора, что происходит, когда ток коллектора достигает такого значения, при котором все напряжение источника падает на нагрузке коллектора и никакого дальнейшего увеличения тока не происходит, хотя бы амплитуда входных сигналов и продолжала возрастать.

В результате обе половины синусоидального колебания ограничиваются. При правильном подборе режима описанная схема может формировать на выходе сигналы прямоугольной формы при подаче на вход ее синусоидального напряжения достаточной амплитуды. Если амплитуда сигналов, поступающих на вход, недостаточна для ограничения тока коллектора, то будет ограничена только одна половина сигнала, причем форма ее не будет строго прямоугольной.

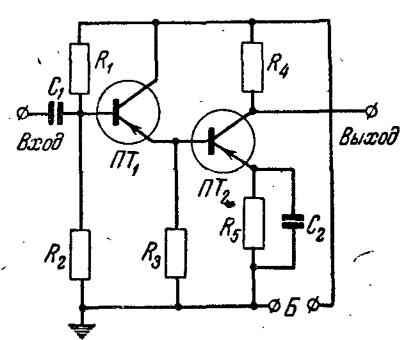
Поскольку полупроводниковой триод усиливает сигнал, поступающий на вход схемы, то амплитуда ограниченного сигнала превышает амплитуду входного синусоидального.

Усилитель с прямой (гальванической) связью. Выбрав соответствующие значения постоянных напряжений и токов, можно сконструировать усилитель с прямой связью; схема такого усилителя представлена на фиг. 21. В этой схеме каскад с заземленным коллектором соединен непосредственно с каскадом, собранным по схеме с заземленным эмиттером. Для обоих этих каскадов достаточно одного источника питания.

Делитель напряжения, образованный сопротивлениями R_1 и R_2, создает напряжение смещения для каскада

с заземленным эмиттером, нагрузкой которого служит сопротивление R_3.

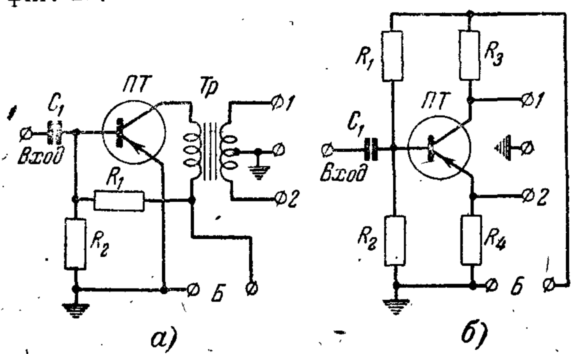
Выходной сигнал выделяется на сопротивлении R_4, являющемся нагрузкой каскада с заземленным эмиттером. Ток смещения во втором каскаде получается благодаря непосредственной связи основания триода этого



Фиг. 21. Схема двухкаскадного усилителя с прямой связью.

каскада с эмиттером триода предыдущего каскада; сопротивление R_5, шунтированное конденсатором C_2, необходимо для ограничения этого тока до соответствующего значения.

Фазоинверсные схемы. Схемы фазоинверторов на полупроводниковых триодах во многом аналогичны схемам на ламповых триодах. Две такие схемы представлены на фиг. 22.



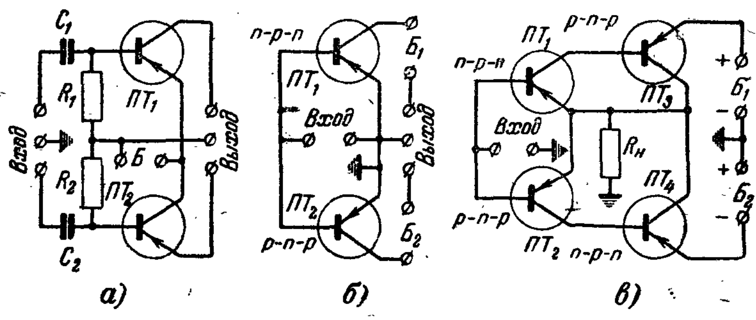
Фиг. 22. Схемы фазоинверторов на полупроводниковых триодах.

В схеме на фиг. 22, *а* применен трансформатор *Тр.* Для того чтобы схема работала от одного источника питания, ток смещения поступает от делителя напряжения, образованного сопротивлениями R_1 и R_2.

Схема, показанная на фиг. 22, *б*, является аналогом хорошо известной схемы фазоинвертора на электронной лампе. Сопротивления нагрузки R_3 и R_4 включены одновременно в цепь коллектора и эмиттера. Ток смещения поступает от делителя напряжения из сопротивлений R_1 и R_2.

Хотя оба сопротивления нагрузки R_3 и R_4 имеют одно и то же значение, выход схемы не сбалансирован полностью, т. е. амплитуда сигнала в точке *1* не равна амплитуде в точке *2*. Однако баланс схемы вполне достаточен для многих практических целей, особенно если схема служит для раскачки усилителя с малыми нелинейными искажениями.

Двухтактный усилитель. Если амплитуда сигнала или выходная мощность должны быть больше той, которую может дать один триод, то можно использовать два или несколько триодов в двухтактном соединении. Три варианта таких схем показаны на фиг. 23.



Фиг. 23. Двухтактные схемы на полупроводниковых триодах.

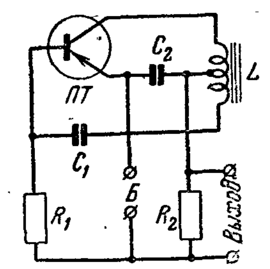
Стандартная двухтактная схема показана на фиг. 23, *а*. Оба триода $ПТ_1$ и $ПТ_2$ могут быть одного типа; для подачи на вход требуется сбалансированный сигнал. В схеме имеется один источник питания *Б*. Выходной нагрузкой может быть трансформатор с выводом средней точки вторичной обмотки, связанный с каким-нибудь устройством, как, например, звуковая катушка динамического громкоговорителя.

Двухтактные схемы, показанные на фиг. 23, *б* и *в*, обладают тем преимуществом, что для их работы нужен однотактный входной сигнал, т. е. нет необходимости применять перед этой схемой фазоинвертор, как в схеме, показанной на фиг. 23, *а*. Однако для правильной работы этих схем необходимо применять те типы триодов, которые указаны на схемах. Помимо того, необходимы два источника питания ($Б_1$ и $Б_2$) или батарея с отводом от части элементов.

Схема, показанная на фиг. 21, *в*, обладает тем дополнительным преимуществом, что она может работать непосредственно на низкоомную нагрузку.

Обе эти схемы работают благодаря различной полярности характеристик триодов различного типа. Таким образом, выходные сигналы, получаемые от двух триодов, имеют сдвиг фаз, равный 180°, несмотря на то, что на вход обеих схем поступает один и тот же сигнал.

Генератор колебаний пилообразной формы. Напряжение пилообразной формы, используемое для развертки электронного луча в телевизорах или осциллографах, также может быть получено при помощи схем на полупроводниковых триодах. Одна из простейших схем показана на фиг. 24.

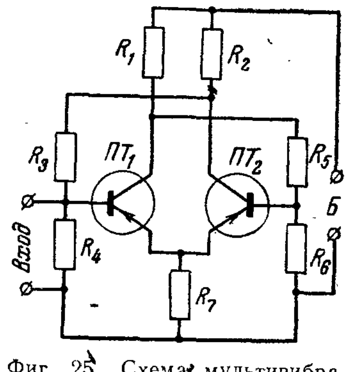


Фиг. 24. Схема генератора напряжения пилообразной формы.

Напряжение обратной связи достаточной амплитуды получается от катушки *L* с отводом (схема работает как блокинг-генератор). Пока триод заперт, конденсатор C_2 медленно заряжается через сопротивление R_2, после чего быстро разряжается благодаря импульсу тока коллектора, протекающему в то время, когда триод не заблокирован.

Для линейности выходного сигнала постоянная времени $R_2 C_2$ должна быть достаточно велика по сравнению с частотой повторения колебаний генератора.

Мультивибратор. Схема, показанная на фиг. 25, имеет два состояния устойчивого равновесия. Она переходит из одного состояния равновесия в другое при подаче сигнала соответствующей полярности к основанию одного из триодов. Для работы схемы нужен один источник питания.



Фиг. 25. Схема мультивибратора.

Схема работает следующим образом.

Пусть начинает проводить триод $ПТ_2$. Полное сопротивление коллектор—эмиттер этого триода очень невелико, и потенциал точки соединения сопротивлений R_2 и R_3 фактически равен потенциалу на верхнем конце сопротивления R_7. Это означает, что в цепи эмиттер — основание триода $ПТ_1$ может протекать или очень небольшой ток смещения, или же он вообще будет отсутствовать, так что цепь коллектор—эмиттер остается в непроводящем состоянии (полное сопротивление ее высоко). При этом практически никакого падения напряжения на сопротивлении R_1 нет, и потенциал точки соединения сопротивлений R_1 и R_5 достаточен для поддержания тока смещения через триод $ПТ_2$, который остается в проводящем состоянии.

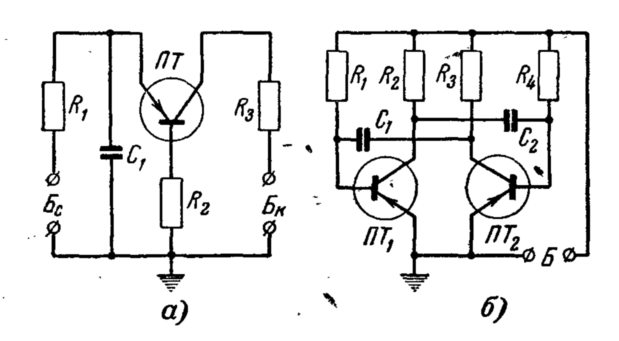
Предположим теперь, что сигнал соответствующей полярности и амплитуды, достаточный для того, чтобы заставить триод $ПТ_1$ проводить, приложен к его основанию. Тогда полное сопротивление триода $ПТ_1$ станет уменьшаться и на сопротивлении R_1 образуется значительное падение напряжения. Это означает, что больше уже не существует потенциала, необходимого для того,

чтобы протекал ток смещения в цепи основание—эмиттер триода $ПТ_2$, и этот триод перейдет из проводящего состояния в непроводящее.

После этого схема снова находится в стабильном состоянии (но теперь проводит уже триод $ПТ_1$) до тех пор, пока импульс противоположной полярности не будет приложен к основанию триода $ПТ_1$.

Так как эта схема имеет два устойчивых состояния равновесия, она может служить как электронный переключатель, а также применяться в счетных устройствах. Обычно она используется в соединении с другими схемами.

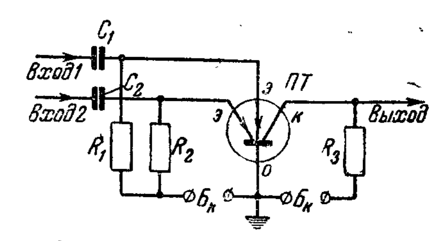
На фиг. 26 показаны две схемы мультивибраторов на полупроводниковых триодах. Схема на фиг. 26, *а* работает на одном триоде *ПТ* и требует минимального количества деталей. Однако, поскольку работа этой схемы зависит от связи, осуществляемой через общее сопротивление R_2 в цепи основания триода, то последний должен иметь коэффициент α больше единицы; поэтому в подобной схеме применяют точечный триод.



Фиг. 26. Схемы мультивибраторов.
а — на точечном триоде; *б* — на двух плоскостных триодах.

Схема мультивибратора, показанная на фиг. 26, *б*, аналогична схеме на электронных лампах. Она состоит из двух усилителей с заземленными эмиттерами, имеющими реостатно-емкостные связи между входной и выходной цепями. Для работы схемы нужен один источник питания *Б*. В ней применяются плоскостные триоды.

Смеситель на полупроводниковом тетроде. Схема, показанная на фиг. 27, может служить в качестве модулятора или смесителя и рассчитана на применение точечного тетрода с заземленным основанием.



Фиг. 27. Схема смесителя или модулятора на точечном тетроде.

Входные сигналы подаются одновременно к двум эмиттерам, суммарный сигнал выделяется на нагрузке коллектора R_3.

Другие схемы. Применение полупроводниковых триодов не ограничивается описанными схемами. Приведенные схемы скорее служат лишь некоторой иллюстрацией того, что могут дать полупроводниковые триоды.

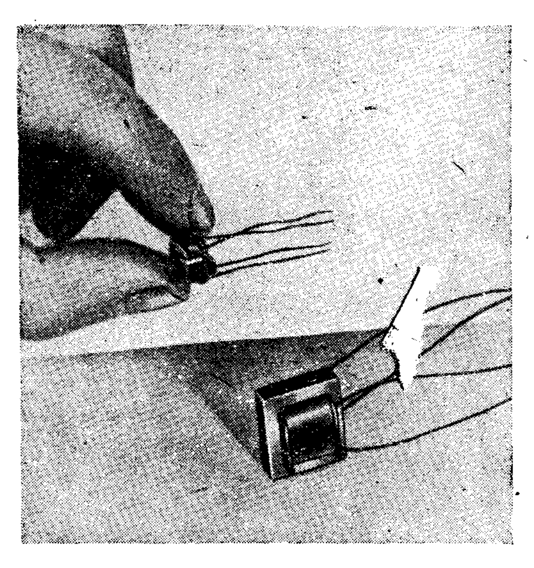
После разработки новых типов полупроводниковых триодов будут предложены и новые специализированные схемы их применения, равно как и новые сочетания уже известных и испытанных схем.

ДЕТАЛИ ДЛЯ СХЕМ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТРИОДАХ

Размеры полупроводниковых триодов малы, что позволяет конструировать сверхминиатюрную радио- и электронную аппаратуру. Однако триоды представляют собой только часть любой схемы, поэтому необходимы и детали, соизмеримые по размерам с полупроводниковыми триодами.

Размеры пластин сердечников трансформаторов для схем на полупроводниковых триодах зависят от ряда факторов. Из них наиболее важны величина постоянного тока, протекающего через обмотку трансформатора, и мощность его.

И ток и мощность в схемах на полупроводниковых триодах очень невелики, что позволяет применять трансформаторы с очень тонкими сердечниками. Такой трансформатор показан на фиг. 28. На переднем плане для сравнения показан стандартный миниатюрный трансформатор.



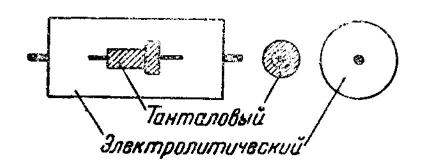
Фиг. 28. На переднем плане стандартный миниатюрный трансформатор и сзади специальный трансформатор для схемы на полупроводниковых триодах.

Размеры трансформатора для схем на полупроводниковых триодах могут быть 9,5 × 9,5 × 9,5 *мм*, а его вес равен 3 *г*. Мощность, которую может рассеивать такой трансформатор, не превышает 1 *мвт*.

Поскольку схемы на полупроводниковых триодах характеризуются малыми полными сопротивлениями, в них необходимо применять конденсаторы большой емкости. К счастью, малые напряжения постоянного тока в таких схемах позволяют применять конденсаторы с малым пробивным напряжением, поэтому для схем с полупроводниковыми триодами используются электролитические конденсаторы, которые обычно при небольших габаритах имеют большие значения емкостей.

Другим типом конденсатора малых размеров является танталовый электролитический конденсатор. Этот конденсатор имеет пористый танталовый анод, расположенный в корпусе, где находится также серебряный катод и электролит.

Танталовый конденсатор, показанный для сравнения на фиг. 29, имеет размеры приблизительно 8 × 12 *мм*, объем его за исключением выводов не превышает 1,6 *см*³. По своим электрическим свойствам большинство танталовых конденсаторов лучше стандартных электролитических конденсаторов. Емкости танталовых конденсаторов



Фиг. 29. Сравнительная величина танталового и электролитического конденсаторов постоянной емкости.

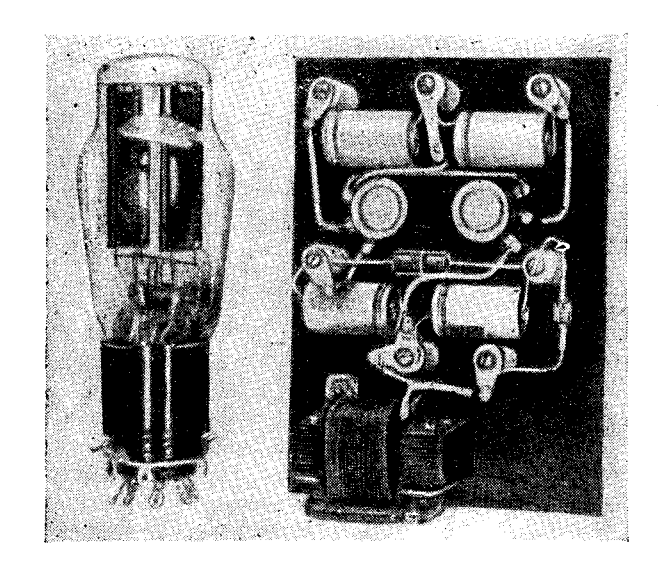
лежат в пределе от 0,2 до 30 *мкф* при рабочих напряжениях от 125 до 6 *в*. Максимальный ток утечки даже при самом большом напряжении на конденсаторе не превышает 6 *мка*, а при меньшем напряжении величина тока утечки равна 2 *мка* или меньше. Нормальные температурные пределы работы танталовых конденсаторов простираются от —55 до +85° С при нормальных рабочих напряжениях; температуру можно повысить до +100° С, если рабочее напряжение понизить на 15%.

В схемах на полупроводниковых триодах могут также работать небольшие бумажные, слюдяные и керамические конденсаторы. За исключением размеров и рабочих напряжений, они во всем остальном подобны конденсаторам, применяемым в стандартной радиоаппаратуре.

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДЛЯ СХЕМ С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ ТРИОДАМИ

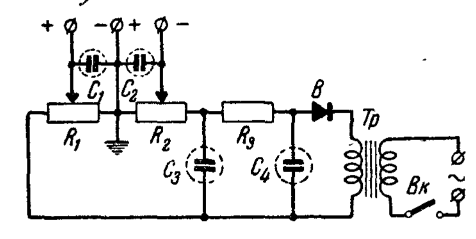
Батареи. Источники питания для схем с полупроводниковыми триодами могут быть батареи, так как ток, потребляемый такими приборами, очень небольшой. Наиболее пригодны стандартные угольно-цинковые элементы и батареи, применяемые для питания батарейных радиоприемников, передвижек, в омметрах и во многих других схемах.

В устройствах на полупроводниковых триодах угольно-цинковые низковольтные батареи (для карманных фонарей) могут работать в качестве источников напряжения смещения. Батареи напряжением от 15 до 13 *в* могут служить источником напряжения постоянного тока, подаваемого на коллектор. Высоковольтные батареи из комплекта батарей, служащих для питания приборов для тугоухих, пригодны в качестве источников питания полупроводниковых триодов точечного типа или мощных полупроводниковых триодов.



Фиг. 30. Сравнительная величина вакуумного диода 5Ц4С и выпрямителя для питания полупроводниковых триодов.

Питание от выпрямителя. На фиг. 30 показан слева кенотрон 5Ц4С, а справа — для сравнения выпрямитель, предназначенный для питания усилителей на полупроводниковых триодах. Принципиальная схема его приведена на фиг. 31.



Фиг. 31. Принципиальная схема выпрямителя.

Около выходных зажимов выпрямителя расположены два конденсатора фильтра C_1 и C_2.

Под этими конденсаторами смонтированы два потенциометра R_1 и R_2 для регулировки напряжения смещения и напряжения на коллекторе. В центре находятся конденсаторы C_3 и C_4 и сопротивление R_3 фильтра, а слева внизу трансформатор *Тр*. Справа против одного из конденсаторов расположен выпрямительный элемент *В* (германиевый диод), включенный так, чтобы получить полярности, указанные на фиг. 31. Электролитические конденсаторы фильтра должны быть включены соответственно этим полярностям.

Когда полярность постоянного напряжения изменяется, необходимо переключить выводы всех конденсаторов и выпрямляющего диода. Такое переключение нужно предусмотреть, если источник питания будет работать с различными типами полупроводниковых триодов.

Источники постоянного напряжения для питания аппаратуры на электронных лампах рассчитаны так, чтобы изменения тока сигнала в аппаратуре не давали заметного изменения постоянного напряжения на анодах, на экранирующих или управляющих сетках ламп. Иногда такие источники питания применяют и для устройств с полупроводниковыми триодами, при условии, что в отдельных каскадах таких устройств имеется токоограничивающее сопротивление.

Тем не менее во многих случаях применения полупроводниковых триодов (особенно точечного типа) приложенные потенциалы имеют такие полярности, что возникает большой ток, текущий через малое полное сопротивление. Происходит это явление потому, что полупроводниковый триод работает как выпрямитель, напряжение на который приложено в прямом (проводящем) направлении, что может вызвать разрушение такого триода.

Поэтому необходимо следить за тем, чтобы источник постоянного напряжения мог отдавать приблизительно постоянный или ограниченный ток. Практически для этого в схему такого источника питания вводят последовательные сопротивления, во много раз превосходящие значения сопротивлений самого триода. Если почему-либо ток начинает возрастать, то увеличивается и падение напряжения на последовательно включенных сопротивлениях, что ограничивает напряжение, подаваемое на триод, а следовательно, и ток через него.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТРИОДОВ

Полупроводниковые триоды более прочны в механическом отношении, чем электронные лампы, но легко повреждаются при всякого рода электрических перегрузках. Поэтому ниже рассмотрены условия, обеспечивающие нормальную работу аппаратуры на полупроводниковых триодах.

1. Нельзя перегревать как триод, так и выводы его электродов, потому что чрезмерное нагревание может испортить триод.

Нужно пользоваться панельками для включения триодов, и не вставлять в них триоды до тех пор, пока не закончен и не проверен монтаж схемы. Если триод необходимо впаять в схему, то эту операцию нужно делать как можно быстрее, пользоваться чистым, хорошо нагретым паяльником и легкоплавким припоем хорошего качества. Не следует коротко обрезать выводы электродов триода. При впаивании его в схему следует провода, подходящие к триоду, охватывать плоскогубцами, располагая их между точкой, где прикладывается жало паяльника, и телом триода. Делается это для того, чтобы плоскогубцы отводили тепло от триода.

2. Нельзя превышать максимальные электрические режимы работы триодов. Одни образцы триодов способны выдержать моментальные перегрузки, но другие гибнут немедленно. Характеристики триодов несколько отличаются друг от друга, поэтому при максимальных режимах один образец еще, может быть, выдержит перегрузку, другой — несколько изменит свои характеристики, а третий — выйдет из строя.

Если триоды должны применяться в схемах, работающих при повышенной температуре, то для увеличения срока их службы, лучшей стабильности и надежности работы схемы режим работы триодов должен быть ниже максимальных условий.

3. Нельзя изменять полярность питающего напряжения для данного триода. В аппаратуре на электронных лампах перемена полярности может только прекратить работу схемы, а полупроводниковый триод при этом выйдет из строя.

Триоды различных типов требуют для своей работы напряжений различной полярности, поэтому при малейшем сомнении в правильности полярности напряжения ее следует проверить по характеристикам триода и только после этого включать его в схему.

4. Следует остерегаться больших токов и напряжений даже в переходном (неустановившемся) режиме. Это нужно иметь в виду как при работе с новой схемой, так и при модернизации или измерениях уже знакомой схемы. Опасный бросок тока может возникнуть, например, при подаче импульсного сигнала с крутым фронтом, при возникновении напряжения самоиндукции в катушках индуктивности, разных переключениях в схеме и даже при включении и выключении питающего напряжения.

Схему нового прибора необходимо тщательно изучить до подачи напряжений питания. Если это возможно, то питающее напряжение следует постепенно повышать от нуля до требуемого значения.

Исследуя работу прибора, не следует вынимать триоды из панелек или вставлять их. Если нужно заменить триод без выключения питающего напряжения, то вначале следует отключать основание. Следует избегать таких методов измерения, которые могут привести к возникновению резких перепадов напряжений в схеме.

Испытания полупроводниковых триодов. Возможны случаи выхода из строя триода, работающего в схеме. Так, например, если ток коллектора триода, работающего в схеме с заземленным эмиттером, очень быстро возрастает, а изменения величины тока основания не влияют или почти не влияют на ток коллектора, то весьма вероятно, что триод неисправен.

Полупроводниковый триод можно считать эквивалентным двум диодам, пока дело касается значений сопротивлений для постоянного тока. Таким образом, для проверки величин сопротивлений как в прямом, так и в обратном направлении между основанием и эмиттером и между основанием и коллектором можно воспользоваться омметром. Если величины сопротивлений в прямом и обратном направлении имеют приблизительно одинаковые значения, то это может указывать на неисправность триода.

Другим способом проверки триода может служить замена его другим, заведомо исправным, но до этого нужно убедиться в том, что в схеме нет таких неисправностей, которые могли бы разрушить триод.

Удобно для этих целей собрать однокаскадный усилитель, имеющий специальные выводы для измерения постоянных токов и напряжений.

Для проверки триода его вставляют в схему, подключают провода измерительной аппаратуры и подают питание. Измеренные значения токов сравниваются с теми, которые указаны в паспорте. Затем на триод подается переменный сигнал и измеряется коэффициент усиления каскада. Если значения постоянных токов не очень превышают указанные в паспорте, а усиление не очень мало, то триод можно считать пригодным.

Уход за устройствами на полупроводниковых триодах. Аппаратура на полупроводниковых триодах нуждается в меньшем уходе, чем аппаратура на электронных лампах. Дело в том, что полупроводниковые триоды имеют больший срок службы, чем лампы. В ряде случаев срок службы деталей аппаратуры фактически совпадает со сроком службы полупроводниковых триодов.

Кроме того, при работе схем на полупроводниковых триодах выделяется мало тепла, что увеличивает срок службы электролитических конденсаторов, сопротивлений, батарей и других деталей схем.

Зак. 1121

Наконец, аппаратура на полупроводниковых триодах работает при значительно более низких напряжениях постоянного тока, чем электронные лампы. Такой режим создает лучшие условия работы изоляционных материалов и уменьшает вероятность пробоя.

При проверке радиоаппаратуры на электронных лампах или на полупроводниковых триодах рекомендуется следующая последовательность операций:

1. При необходимости устранить неисправность в аппаратуре на полупроводниковых триодах нужно ознакомиться сначала с работой схемы. Затем следует установить причины, вызвавшие выход из строя аппаратуры (например, работа при очень высокой температуре окружающей среды). Далее нужно проверить исправность батареи.

2. Вслед за тем следует установить те дефекты, которые могли вызвать неисправность, и их место в схеме.

3. После этого следует перейти к производству тех измерений, которые помогут устранить или локализовать неисправности. Для этого могут быть использованы измерения сопротивлений, напряжений и др. Вначале изолируется вся неисправная секция, затем каскад и, наконец, сама деталь. Ведя измерения, не следует пользоваться теми способами, которые могут вызвать перенапряжения или большие токи в схеме.

4. Заменяя неисправную деталь, следует помнить, что нельзя нагревать как сам триод, так и его выводы. Кроме того, необходимо проверить правильность включения полярностей как батарей, так и электролитических конденсаторов.

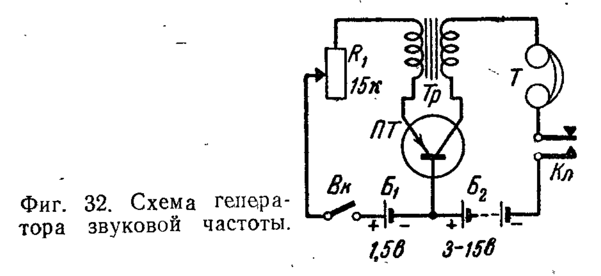
5. После устранения неисправности следует тщательно проверить работу схемы и при необходимости отрегулировать ее работу.

ПРАКТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТРИОДАХ

При разработке новой аппаратуры большую экономию времени дает использование типовых схем и узлов. Поэтому здесь приводится несколько типовых схем, иллюстрирующих практическое использование триодов.

Генератор звуковой частоты. На фиг. 32 приведена схема генератора звуковой частоты, в которой работает

триод *ПТ* плоскостного типа с заземленным основанием. Схема некритична к параметрам и может служить, например, не только при телеграфном изучении азбуки, но и в качестве генератора звуковой частоты при проверке и настройке радиоаппаратуры.



Фиг. 32. Схема генератора звуковой частоты.

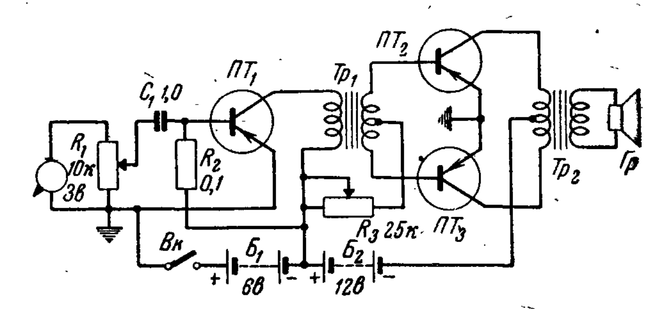
Для подготовки схемы к работе вначале надо установить переменное сопротивление R_1 на максимальное значение. Настройка генератора производится при помощи телефонных высокоомных (2 *ком*) трубок *Т*. Включив источники питания, следует постепенно понижать величину сопротивления R_1 до тех пор, пока не будет услышан звук нужной высоты. Величина введенного сопротивления R_1 влияет как на высоту тона, так и на мощность выхода. Однако не следует брать R_1 менее 2 *ком* (нормальные значения лежат в пределах 2,5—12 *ком*).

Если колебания генератора не возникают, следует переключить концы первичной или вторичной обмоток трансформатора *Тр* (отношение витков обмоток 3 : 1).

Напряжение батареи $Б_2$ не очень критично и генератор может удовлетворительно работать при подаче на коллектор напряжения от 3 до 15 *в*. При больших значениях этого напряжения схема менее критична к величине сопротивления R_1, генератор работает более стабильно и дает бо́льшую мощность на выходе.

В некоторых случаях такой генератор может работать на небольшой громкоговоритель. Для этого вместо телефонных трубок в схему включается первичная обмотка стандартного выходного трансформатора, а вторичная обмотка его соединяется со звуковой катушкой громкоговорителя. Наилучшие результаты были получены с громкоговорителями, имеющими диффузоры диаметром 15—20 *см*.

Усилитель для звуковоспроизведения записи. Схема, представленная на фиг. 33, обладает хорошим отношением сигнал/шум и может удовлетворительно работать в небольших проигрывателях.

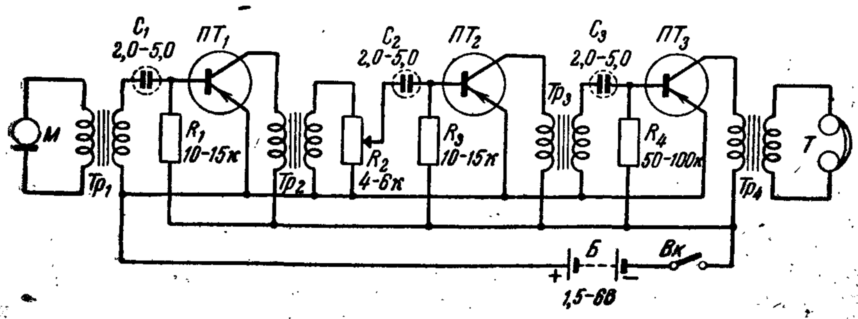


Фиг. 33. Схема усилителя для воспроизведения звукозаписи.

Как видно из схемы, в ней имеется каскад предварительного усиления с триодом $ПТ_1$, раскачивающий двухтактный выходной каскад с триодами $ПТ_2$ и $ПТ_3$. Все триоды (плоскостного типа) этой схемы имеют заземленный эмиттер. Трансформатор $Тр_1$ (3 : 2) необходим для переворачивания фазы и поэтому его параметры некритичны.

После окончания монтажа схемы следует отрегулировать сопротивление R_3 для получения оптимальных условий работы (максимальной мощности на выходе при малых искажениях с низким уровнем шумов).

Усилитель к прибору для тугоухих. Схеме, представленной на фиг. 34, можно придать чрезвычайно малые



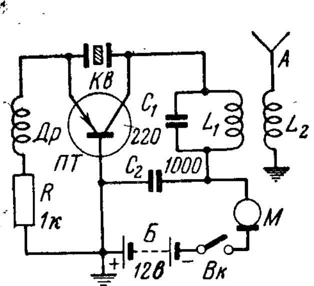
Фиг. 34. Схема усилителя к прибору для тугоухих.

размеры при наличии сверхминиатюрных деталей. В этом усилителе используются триоды плоскостного типа.

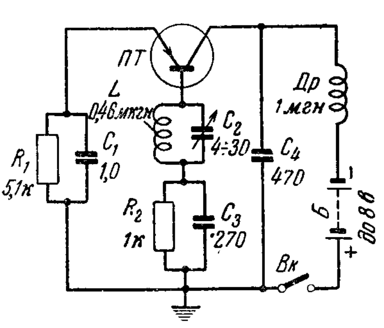
Налаживание усилителя производится при помощи переменных сопротивлений R_1, R_3 и R_4, которые потом можно заменить постоянными сопротивлениями.

Вместо трансформатора $Тр_4$ можно применить высокоомные телефонные трубки.

Генератор высокой частоты с кварцевой стабилизацией. В генераторе работает точечный триод *ПТ*, включенный по схеме с заземленным основанием (фиг. 35). Колебания угольного микрофона *М* модулируют ток коллектора. Дальность действия такого генератора не велика.



Фиг. 35. Схема передатчика с кварцевой стабилизацией.

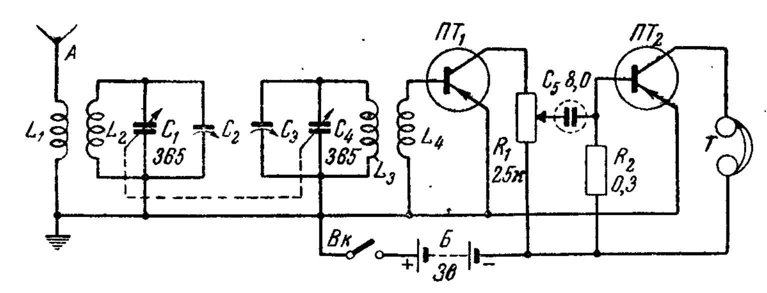


Фиг. 36. Схема генератора колебаний частоты 50 *мггц*.

Катушка индуктивности L_1 наматывается из провода диаметром 2,4 *мм* на каркасе диаметром 9,5 *мм* и имеет 16 витков. Для индуктивной связи с антенной служит несколько виктов L_2, намотанных на том же каркасе. Степень связи между обмотками и число витков нужно установить экспериментально.

Генератор колебаний с частотой 50 *мггц*. В этой схеме (фиг. 36) работает специально сконструированный точечный триод *ПТ*. Выходная мощность генератора не превышает 1 *мвт* и вполне достаточна для экспериментов.

Радиовещательный приемник прямого усиления. Для работы радиовещательного приемника (фиг. 37) требуются хорошая высокая антенна и заземление. Он собран на двух плоскостных триодах с заземленными эмиттера-



Фиг. 37. Схема радиовещательного приемника на двух триодах.

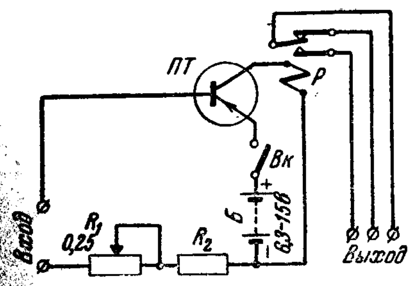
ми. Триод $ПТ_1$ служит детектором и усилителем. Сигнал звуковой частоты выделяется на регуляторе громкости R_1 и через конденсатор C_5 поступает на вход триода $ПТ_2$, который работает как обычный усилитель. Для обеспечения хорошей избирательности радиовещательного диапазона (550÷1 500 *кгц*) в приемнике применено два колебательных контура (катушки L_1, L_2, L_3 и L_4 можно использовать от какого-либо приемника).

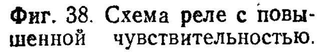
При монтаже нужно предусмотреть такое расположение катушек, чтобы между ними была взаимная связь с возможностью регулировки, для обеспечения хорошей избирательности.

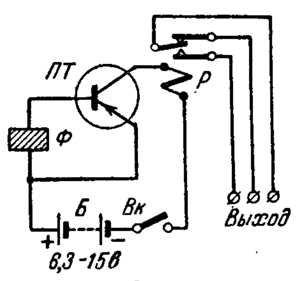
Высокоомные телефонные трубки *Т* можно непосредственно включить в цепь коллектора триода $ПТ_2$. При желании применить низкоомный громкоговоритель потребуется выходной трансформатор. Для применения пьезоэлектрических трубок или громкоговорителя в цепь коллектора триода $ПТ_2$ следует ввести сопротивление от 2 до 5 *ком*, а между громкоговорителем и цепью коллектора — конденсатор в 0,5 *мкф*.

Реле высокой чувствительности. Однокаскадный усилитель, собранный на плоскостном триоде по схеме с заземленным эмиттером, может повысить чувствительность электромагнитного реле в 10—12 раз. Схема такого усилителя представлена на фиг. 38.

Если для срабатывания реле *Р* через его обмотку должен проходить ток не менее 2 *ма*, то в описываемой схеме для нормальной работы требуется ток в 200 *мка*, текущий через цепь основания. Реле нужно подобрать такое, которое срабатывает при токе через обмотку, не превышающем 5 *ма*, чтобы максимальное значение тока




Фиг. 38. Схема реле с повышенной чувствительностью.



Фиг. 39. Схема реле с фотоэлементом.

коллектора не было превышено. Батарея *Б* должна дать напряжение, достаточное для протекания тока нужной величины через обмотку реле.

Сопротивление R_2 ограничивает ток через триод. Величина его берется в зависимости от напряжения батареи (значение R_2 должно быть таким, чтобы ток через триод никогда не превышал 5 *ма*, даже если переменное сопротивление R_1 будет выведено полностью).

Для того чтобы схема работала, надо замкнуть выключатель *Вк*. Установив значение R_1 на максимум, надо затем замкнуть входные зажимы управления и далее постепенно выводить сопротивление R_1 до тех пор, пока контакты реле не замкнутся. Такая регулировка правильна до тех пор, пока сопротивление между входными зажимами равно нулю; если же это сопротивление само по себе велико, то следует работать при меньших значениях сопротивления R_1.

Чувствительность описанной схемы в значительной мере зависит от типа реле и в меньшей степени от триода и напряжения батареи.

Схема фотореле. Схема фотореле (фиг. 39) является вариантом предыдущей схемы. Работа обеих схем совершенно одинакова, за исключением того, что во втором случае в цепь основание — эмиттер триода *ПТ* включен селеновый фотоэлемент *Ф*, подобный применяемым в фотоэкспонометрах.

Схема работает следующим образом. Под действием попадающего на фотоэлемент света в цепи его возникает небольшое напряжение и в цепи основание — эмиттер триода появляется ток. Под действием этого тока появляется соответственно больший ток коллектора, что вы-

зывает срабатывание реле *Р*. Для большинства фотоэлементов необходим достаточно сильный источник света.

Как и в предшествующей схеме, нужно подобрать электромагнитное реле, не требующее тока, превышающего несколько миллиампер; лучшие результаты будут получены, если этот ток будет меньше 1 *ма*. Напряжение батареи *Б* должно обеспечить протекание достаточного тока с учетом наличия сопротивления обмотки реле, но не более 20 *в*.

СОДЕРЖАНИЕ

